Einsatz des Stenon FarmLab unter Praxisbedingungen zur Erfassung von Bodeneigenschaften
Rahmenbedingungen – Vorgehensweise – Ergebnisse

H.-W. Olfs, F. Lorenz, C. Bauer, H. Spiegel, L. Handl, M. Gansberger, M. Mittermayer und F. Liebisch

Für die Düngeplanung sollten regelmäßig Bodenproben entnommen und auf wichtige Bodenkennwerte wie den pH-Wert und die Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen analysiert werden. Üblicherweise wird dazu eine Mischprobe aus mehreren Einstichen je (Teil)Schlag (für N_{min} und S_{min} aus den 3 Tiefen 0-30, 30-60 und 60-90 cm; für die Grundbodenuntersuchung auf pH, P, K, Mg und Humus aus dem Krumenbereich) entnommen und zur Laboranalyse eingesendet. Die Rückmeldung der Bodenuntersuchungsergebnisse nimmt zumindest einige Tage in Anspruch und ist – je nach Probenanzahl und ausgewählten Untersuchungsparametern – mit entsprechenden Kosten verbunden.

Als Alternative wird von der Firma Stenon das FarmLab zur laborunabhängigen Bodenanalyse direkt auf dem Acker angeboten. Dadurch würde sich nicht nur die Entnahme und das Einsenden von Bodenproben erübrigen, sondern auch Geld sparen lassen. Die erhobenen Bodendaten stehen zeitnah in einer Webapplikation zur Verfügung, bei mobiler Internetverbindung sogar unmittelbar nach der Messung. Das FarmLab ist mit Sensoren zur Erfassung von Impedanz- sowie Absorptionsspektren ausgerüstet, die pro Messung mehr als 5000 Datenpunkte erfassen (Stenon GmbH, 2021). Aus diesen Spektren werden u. a. Messwerte zu N_{min}-, P-, K-, Mg- und Humus-Gehalt, pH-Werten und Bodenart abgeleitet. Außerdem werden die GPS-Position, Witterungsdaten (Lufttemperatur, -feuchte und -druck) sowie Bodentemperatur und -feuchte erfasst.

Abb. 1: FarmLab im Einsatz auf einer Praxisfläche

Der Umgang mit dem in der Handhabung spatenähnlichen FarmLab (Abb. 1) ist anhand der Bedienungsanleitung schnell zu erlernen. Nach dem Einschalten des Gerätes muss eine ca. 10-minütige Aufwärmphase abgewartet werden. Vor der ersten Verwendung muss das Gerät noch mit einem vorher erstellten Benutzeraccount gekoppelt werden. Dazu ist eine Internetverbindung notwendig, die über WLAN erfolgt und dadurch auch mittels Hotspot eines Smartphones im Feld durchgeführt werden kann. Das Gerät ist dann mit der Stenon Cloud verbunden, sodass die Messungen ausgewertet und die Ergebnisse im eigenen Account gespeichert werden können.

Ohne Internetverbindung kann das Gerät 1000 Messungen lokal speichern, die der Benutzer dann aber vor Ort nicht einsehen kann. Danach wird der Benutzer aufgefordert, eine Gerätekalibrierung durchzuführen. Dazu wird die mitgelieferte Kalibrationskappe dicht schließend auf den Sensorkopf gesetzt und der entsprechende Menüpunkt über den Touchscreen der Bedieneinheit ausgelöst. Dieser Vorgang muss alle 2 – 3 Stunden wiederholt werden. Fehlerhafte Kalibrierungen werden im Display angezeigt.

Abb. 2: Bedingt durch die Bauart des Sensorkopfes wird nur im mittleren Bereich der Krume gemessen. Die Kontaktfläche der beiden Sensoren zum Boden umfasst nur wenige Quadratzentimeter.

Zur Durchführung einer Messung wird der Sensorkopf (Abb. 2) am unteren Ende des Gerätes mit einer Fußraste in den Boden gedrückt, ähnlich eines Spateneinstichs, und der Messvorgang über den Touchscreen gestartet. Um einen guten Bodenschluss der Sensoren sicherzustellen, ist darauf zu achten, dass zum einen Erntereste vor dem Eindrücken des Sensorkopfes in den Boden zur Seite geschoben werden und zum anderen bei sehr lockerem Boden der Bereich um den Sensorkopf etwas festgetreten wird. Entsprechende Fehlermeldungen werden im Display angezeigt. Nach 30 – 60 Sekunden ist die erste Messung abgeschlossen. 2 weitere Messungen in einem Umkreis von ca. 50 cm sind durchzuführen, bevor der Messvorgang beendet ist (Triple-Messung). Falls eine der 3 Messungen nicht funktioniert hat, wird ein Fehlercode (z. B. „Vegetationsrückstände“, d. h. Pflanzenreste befanden sich vor den Sensoren) angezeigt. Die Messung muss dann wiederholt werden. Vor jeder neuen Messung muss der Sensorkopf mit einer Bürste und einem Tuch gereinigt werden.

Für die Auswertung der Messdaten hat Stenon Algorithmen entwickelt, die auf Vergleichsuntersuchungen von Bodenproben basieren. Bei einer vorhandenen Internet-Verbindung werden die Bodenuntersuchungsdaten in den bekannten Einheiten direkt im Display angezeigt. Alternativ werden die Messwerte im FarmLab für die Übertragung in die Cloud und die nachfolgende Auswertung gespeichert. Laut Stenon sind die FarmLab-Ergebnisse direkt vergleichbar zu den mittels Laboruntersuchungen ermittelten Bodenkennwerten und gelten für eine Bodentiefe von 0 – 30 cm.

Um wie bei der klassischen Bodenuntersuchung – in der Regel eine Mischprobe aus 15 – 20 Einstichen – einen repräsentativen Überblick über einen (Teil)Schlag zu erhalten, muss die FarmLab-Triple-Messung an verschiedenen Stellen im Schlag wiederholt werden. Konkrete Vorgaben zur benötigten Anzahl an Triple-Messungen oder in welchem Muster diese über den Schlag verteilt sein sollen, werden

in der Gebrauchsanweisung nicht gemacht. Einige Hinweise dazu findet man mittlerweile auf der Homepage des Herstellers (www.stenon.io).

Im deutschsprachigen Raum wurden von verschiedenen öffentlichen Institutionen Messkampagnen mit FarmLab-Geräten durchgeführt (Tab. 1). Anhand des Vergleichs zu Laborwerten für gleichzeitig entnommene Bodenproben kann daraus eine Aussage über die Treffsicherheit des FarmLab abgeleitet werden.

Tab. 1: Institutionen, die Messungen mit FarmLab Geräten durchgeführt haben und die jeweils ermittelten Bodenkennzahlen

	AGES (Wien) / Josephinum Research (Wieselburg)	Agroscope Zürich-Reckenholz	Hochschule Osnabrück	LTZ Augustenberg	LUFA Nord-West	TU München
Nitrat		X		X		
N_{min}	X	X		X		
P-CAL	X		X	X	X	X
K-CAL	X		X	X	X	X
Magnesium	X		X	X	X	
C_{gesamt}	X	X		X	X	X
N_{gesamt}	X			X		X
pH-Wert	X	X	X	X	X	

Die AGES (Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH) in Wien und das Josephinum Research („Innovation Farm“) in Wieselburg (beide in Österreich) haben in Zusammenarbeit auf 2 Praxisschlägen insgesamt 30 FarmLab Messungen durchgeführt. Bei jeder FarmLab Triple-Messung wurde eine Mischprobe (0 bis 30 cm) aus mehreren Einstichstellen im selben Bereich gezogen, die auf pH-Wert, P, K, Mg und C_{gesamt} untersucht. Auf weiteren 3 Feldstücken wurden neben den FarmLab Messungen je 4 Bodenproben zusätzlich auch auf N_{gesamt} und N_{min} untersucht.

Agroscope, das Kompetenzzentrum für landwirtschaftliche Forschung in der Schweiz, hat insgesamt 100 Untersuchungen mittels FarmLab für die 4 Bodeneigenschaften N_{min}, auf N_{gesamt} und auf C_{gesamt} sowie pH-Wert durchgeführt. Die Messungen waren dabei auf zwei Teilexperimente aufgeteilt, welche aufgrund ihrer unterschiedlichen Bodeneigenschaften gewählt wurden. In einem seit 1949 durchgeführten Feldexperiment der Versuchsstation Zürich-Reckenholz mit 12 verschiedenen Düngeinputs wurden 64 Messungen durchgeführt. Der Boden des Versuchsfelds ist als sandiger Lehm

eingestuft und weisst eine grosse Variabilität im Boden-C und -N auf. Der zweite FarmLab-Einsatz fand auf einem Praxisschlag auf der „Swiss Future Farm“ in Tänikon, statt. Dieses Feld wies einen sehr hohen Texturgradienten auf. Entsprechend der Stenon-Anleitung wurden die 3 FarmLab-Einstiche als auch die Bodenmischprobe (0-20 cm) von einer 50x50 cm Fläche genommen.

Im Frühjahr 2021 wurde an der Hochschule Osnabrück ein FarmLab-Gerät im Rahmen einer Erhebungsuntersuchung im westlichen Niedersachsen auf 71 Praxisschlägen zur Erfassung der P-, K- und Mg-Gehalte sowie der pH-Werte eingesetzt. Auf jeder Fläche wurden jeweils an den Eckpunkten eines Dreiecks von 2 m Kantenlänge 3 unabhängige FarmLab Triple-Messungen durchgeführt und parallel dazu an diesen Messpunkten 3 Bodenproben mit 6 Einstichen aus der Schicht 0-30 cm entnommen. Weil Einzelwerte der FarmLab-Messungen in der Cloud fehlten, konnten allerdings nur 64 Standorte (mit jeweils 3 vollständigen Datensätzen) ausgewertet werden. Weiterhin wurden 3 P- und 3 K-Dauerdüngungsversuche der Universität Göttingen (Abteilung Pflanzenernährung und Ertragsphysiologie) beprobt. In den vierfach wiederholten Parzellen der 4 Düngungsstufen (langjährig ohne P- bzw. K-Düngung, halbe Entzugsdüngung, Entzugsdüngung, 1,5- bzw. 2-fache Entzugsdüngung) wurde jeweils 1 FarmLab Triple-Messung sowie an der gleichen Stelle 6 Einstiche zur Entnahme einer Bodenprobe durchgeführt.

Das Landwirtschaftliche Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg in Karlsruhe setzte den FarmLab auf 28 Schlägen auf 5 Versuchsstandorten in Baden-Württemberg ein: auf sandigen Böden aus fluvialen Sedimenten bei Rheinstetten, schluffigen Böden des Kraichgaus bei Östringen und schweren Böden in Bettenreute. Um die Messergebnisse verschiedener Geräte vergleichen zu können, wurden am letztgenannten Standort 10 Schläge parallel mit 2 FarmLab-Geräten untersucht. Die Messungen wurden im November 2021 auf dem Standort Bettenreute sowie von März bis April 2022 auf den anderen Standorten durchgeführt. Auf jedem Schlag wurden 5 Messpunkte festgelegt, die in einem Z-Muster angeordnet wurden. Die Anordnung sollte die Unterschiede im Schlag basierend auf digitalen Karten der Bodenschätzung und EM-38-Messungen erfassen. An jedem Messpunkt wurden an den Eckpunkten eines Dreiecks mit 2 m Seitenlänge 3 Messungen mit dem FarmLab durchgeführt. Dabei erfolgte jede der Triple-Messungen im Umkreis von 50 cm. Insgesamt wurden somit pro Schlag 45 Einzelmessungen durchgeführt.

Die LUFA Nord-West hat im März 2021 zusammen mit dem „Praxislabor Digitaler Ackerbau“ der Landwirtschaftskammer Niedersachsen auf 2 hinsichtlich der Bodenart stark variierenden Schlägen Triple-Messungen an 37 Punkten durchgeführt. Die Messung und die Entnahme der Referenz-Bodenproben erfolgte nach den Vorgaben der Firma Stenon (Stenon GmbH, 2021).

An der Technischen Universität München (TUM) wurde im Oktober 2021 nach der Ernte von Winterweizen ein FarmLab auf 2 Ackerschlägen am Standort Viehhausen (Landkreis Freising)

eingesetzt. Dieser Standort zeichnet sich durch eine hohe Bodenheterogenität aus. Ein 4,7 ha großer Ackerschlag wurde mit 32 und ein 3,9 ha großer Ackerschlag mit 27 Beprobungspunkten untersucht. Ziel der Untersuchung war es die räumliche Variabilität innerhalb der Schläge hinsichtlich verschiedener Bodenparameter (s. Tab. 1) zu charakterisieren. Zeitgleich wurden Referenzboden-proben (0-30 cm) für die Laboranalyse entnommen.

Die Bodenproben aus den Untersuchungsserien der verschiedenen Institutionen wurden für N_{min} feldfeucht und für alle anderen Bodenparameter nach Lufttrocknung und Siebung auf 2 mm mittels der jeweiligen landesüblichen Standardmethoden untersucht. Durch die routinemäßigen Qualitätssicherungsmaßnamen in den akkreditierten Bodenuntersuchungslaboren (AGES, LUFA Nord-West, LTZ Augustenberg) sowie in den anderen beteiligten Laboren wurde sichergestellt, dass die Bodenuntersuchung zu richtigen Messwerten geführt hat.

Zur Bewertung der Übereinstimmung der FarmLab-Ergebnisse mit den im Labor ermittelten Bodenkennzahlen wurden für die einzelnen Serien statistische Berechnungen durchgeführt. Das sogenannte Bestimmtheitsmaß „R^2“ gibt Auskunft darüber, wie gut die Messwerte übereinstimmen: ein R^2 zwischen 0,8 – 1,0 steht dabei für eine „sehr gute“ Übereinstimmung, R^2-Werte zwischen 0,6 – 0,8 werden als „gut“, von 0,4 – 0,6 als „mittel“, von 0,2 – 0,4 als „schlecht“ bezeichnet und R^2-Werte < 0,2 werden als „sehr schlecht“ eingestuft. Tabelle 2 fasst die Ergebnisse der Vergleichsuntersuchungen zusammen.

Insgesamt zeigten sich in der überwiegenden Anzahl der Vergleichsuntersuchungen „schlechte“ bis „sehr schlechte“ Übereinstimmungen für fast alle untersuchten Bodenparameter. So wurde beispielsweise für die pH-Wert-Bestimmung in 3 von 7 Versuchsserien eine sehr schlechte Übereinstimmung von $R^2 < 0,1$ ermittelt und in 2 Serien eine „mittlere“ Übereinstimmung (R^2= 0,47 bzw. 0,52) festgestellt. Der hohe R^2-Wert für die Untersuchung auf den Dauerversuchsflächen der Universität Göttingen lässt sich auf die sehr niedrigen pH-Werte der beiden sandigen Standorte in der Lüneburger Heide zurückführen, die im Gegensatz zu den hohen pH-Werten auf dem lehmigen Standort in Göttingen stehen. Die Übereinstimmung bei den pH-Werten ist erkennbar schlecht. Ob das daran liegt, dass die Messungen auf Böden durchgeführt wurden, deren pH-Werte außerhalb des vom Gerätehersteller angegebenen Messbereiches liegen, kann nicht verifiziert werden. In vielen Regionen Deutschlands sind jedoch sandige Böden anzutreffen, deren pH-Wert deutlich unter dem vom Hersteller angegebenen Messbereich von pH 6,0 – 7,8 liegt. Ein Farmlab-Einsatz ist dann auf diesen Böden nicht zielführend.

Tab. 2: Bestimmtheitsmaße zur Vergleichbarkeit verschiedener Messparameter ermittelt mit Stenon FarmLab Geräten und konventioneller Bodenuntersuchung

Bestimmt-heitsmaß R^2	**AGES Wien / JR Wieselburg**	**Agroscope Zürich**	**Hochschule Osnabrück**	**LTZ Augustenberg**	**LUFA Nord-West**	**TU München**
Anzahl	42/12[1]	100	64/96[2]	140	37	59
Nitrat				0,05		
N_{min}	0,34	0,03	-	0,06	-	-
P-CAL	0,00	-	0,28/0,09	0,00	0,11	0,01
K-CAL	0,38	-	0,06/0,22	0,03	0,22	0,00
Magnesium	0,31	-	0,02/0.12	0,02	0,55	-
C_{gesamt}	0,54	0,78	-	0,01	0,69	0,06
N_{gesamt}	0,21	0,84	-	0,03	-	0,10
pH	0,03	0,30	0,04/0,77	0,47	0,52	0,07

[1] 42: P-CAL, K-CAL, C_{gesamt}, pH / 12: N_{min}, N_{gesamt}

[2] 64 Proben von Praxisflächen / 96 Proben aus 3 Dauerdüngungsversuchen

Durchgängig als „schlecht“ bis „sehr schlecht“ müssen die Bestimmtheitsmaße für die wichtigen Grundnährstoffe Phosphor und Kalium eingestuft werden. Die R^2-Werte für die C_{gesamt} Bestimmung schwanken von 0,01 – 0,78.

Die hier vorgestellten Daten, basierend auf Vergleichsuntersuchungen verschiedener Institutionen, stehen im Widerspruch zur 2021 von der DLG ausgesprochenen Anerkennung für das FarmLab (DLG Prüfbericht 7197). Dabei ist aber unbedingt zu beachten, dass die DLG-Anerkennung sich explizit nur auf die 3 Einzelkriterien NO_3- und N_{min}-Gehalt sowie die Bodenfeuchte bezieht, während in den hier vorgestellten Untersuchungen auch weitere Bodenparameter ausgewertet wurden, welche für das FarmLab beworben werden und wichtige Hinweise u.a. zur Nährstoffversorgung der Böden geben. Informationen, ob andere Parameter von der DLG untersucht wurden und warum welche Kriterien genau erfüllt werden mussten, sind leider nicht verfügbar. Auch das Bestimmtheitsmaß für die untersuchten Parameter wurde im DLG-Test nicht angegeben, so dass eine vergleichende Bewertung nicht möglich ist.

Die Ursache für das Abweichen zwischen den mittels FarmLab und den im Labor ermittelten Daten ist nicht bekannt. Wegen der kleinräumigen Heterogenität der Böden wird mit der Bohrstockprobe ein Bohrkern aus der gesamten Krume entnommen und in der Regel mit weiteren Proben zu einer sogenannten „Sammelprobe“ für einen (Teil)Schlag vereint. Vor der Laboruntersuchung wird das

Bodenmaterial homogenisiert und für die Grundbodenuntersuchung getrocknet und auf 2 mm gesiebt. Wird die Beprobung im Feld entsprechend der allgemein akzeptierten Vorgehensweisen durchgeführt, ist demnach die Repräsentativität der Laborprobe gewährleistet. Die Messung mit dem FarmLab erfolgt hingegen an einer oder mehreren ausgewählten Stellen im Schlag in einem sehr kleinen Bodenbereich. Dabei wird bedingt durch die Bauart des Sensorkopfs nur im mittleren Bereich der Krume gemessen. Die Kontaktfläche der beiden Sensoren zum Boden umfasst nur wenige Quadratzentimeter.

Die bisher von 6 öffentlichen Institutionen durchgeführten praxisnahen Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass das Stenon FarmLab (Version 1.3 mit dem Kalibrationsmodell P-2.1.0) auf den beprobten Böden nicht ausreichend genau arbeitet, um verlässliche Aussagen über den pH-Wert und den Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen zu treffen. Auch die Messergebnisse von 2 baugleichen FarmLab-Geräten, eingesetzt am gleichen LTZ-Standort, zeigten eine mittlere Abweichung von z. B. 20 kg/ha N_{min} oder 8 mg P/100 g Boden. Zusätzlich ist anzumerken, dass Messungen teilweise drei- bis sechsmal wiederholt werden mussten, was den tatsächlichen Zeitbedarf stark erhöht.

Literaturverzeichnis

Bauer, C., Mann, T., Höcker, S., Raible, S., Butz, A., Breuer, J., & Möller, K. (2022). Digitale und konventionelle Bodenanalyse – Erste Vergleichsergebnisse des Einsatzes des Stenon FarmLab-Gerätes unter praxisnahen Bedingungen in Baden-Württemberg. VDLUFA-Schriftenreihe 78, 33 – 44. Kongressband 2022. Darmstadt: VDLUFA-Verlag. https://www.vdlufa.de/wp-content/uploads/2023/01/Kongessband-2022-Low-res.pdf.

DLG TestService GmbH (2021). Stenon FarmLab – mit Softwareversion d-1.3.0 und Kalibriermodell p-2.1.0. https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/tests/pruefberichte/mess-und-prueftechnik/test-stenon-farmlab, abgerufen am 22.02.2023.

Stenon GmbH (2021). Stenon's Laboratory Independent Real-Time Soil Analysis System: An Alternative to Conventional Soil Analysis Methods. Potsdam.